

UAB
Universitat Autònoma de Barcelona

e escola
d'enginyeria



TREBALL DE FI DE GRAU

Enric Rincón Beteta

Pol Mourelle Fumadó

Eudald Alibés Puigdemunt

Alejandro Lorca Blanca

Tutor: Albert Bartrolí Almera Curs: 2017/2018



CAPÍTOL 1.

ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE

Planta de producció de
Clorur de Vinil



CONTINGUT DEL CAPÍTOL 1: ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE

1.1 DEFINICIÓ DEL PROJECTE	7
1.1.1 Bases del projecte	7
1.1.2 Abast del projecte	7
1.1.3 Localització de la planta	8
1.1.3.1 Paràmetres d'edificació de la parcel·la	9
1.1.3.2 Avaluació de les comunicacions y accessibilitat de la planta.....	10
1.1.3.3 Característiques del medi físic de l'entorn.....	13
1.2 CARACTERÍSTIQUES I PROPIETATS DELS COMPOSTOS	15
1.2.1 Producte d'interès: Clorur de vinil	15
1.2.2 Matèries primeres.....	16
1.2.3 Altres compostos.....	17
1.3 PROCÉS D'OBTENCIÓ DEL CLORUR DE VINIL.....	18
1.3.1 Via de producció seleccionada	18
1.3.2 Reacció de formació del clorur de vinil	18
1.3.3 Diagrama blocs	20
1.3.4 Diagrama procés	21
1.4 CONSTITUCIÓ DE LA PLANTA	24
1.4.1 Distribució per àrees	25
1.4.1.1 Àrea 000	27
1.4.1.2 Àrea 100	28
1.4.1.3 Àrea 200	28
1.4.1.4 Àrea 300	28
1.4.1.5 Àrea 400	29
1.4.1.6 Àrea 500	29
1.4.1.7 Àrea 600	29
1.4.1.8 Àrea 700	29
1.4.1.9 Àrea 800	30
1.4.1.10 Àrea 900	30

1.4.1.11 Àrea 1000	30
1.4.1.12 Àrea 1100	30
1.4.1.13 Àrea 1200 i 1300	30
1.4.1.14 Àrea 1400	31
1.5 BALANÇ DE MATÈRIA	31
1.6 ESPECIFICACIONS I NECESSITATS DE SERVEIS A LA PLANTA	34
1.6.1 Serveis requerits per la planta	34
1.6.1.1 Aigua de refrigeració a 20°C	34
1.6.1.2 Vapor d'aigua	37
1.6.1.3 Nitrogen	39
1.6.1.4 Amoníac.....	41
1.6.1.5 Aire comprimit	43
1.6.1.6 Aigua de xarxa	44
1.6.1.7 Aigua contra incendis	44
1.6.1.8 Gas natural	44
1.6.1.9 Electricitat	45
1.7 PROGRAMACIÓ TEMPORAL I MUNTATGE DE LA PLANTA	46
1.8 BIBLIOGRAFIA	48

1.ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE

1.1 DEFINICIÓ DEL PROJECTE

1.1.1 Bases del projecte

L'objectiu principal d'aquest projecte és estudiar la viabilitat de la construcció i l'operació d'una planta de fabricació de clorur de vinil a partir d'acetilè i clorur d'hidrogen, utilitzant clorur de mercuri com a catalitzador. La reacció d'hidrocloració catalitzada pel clorur de mercuri es mostra en la *figura 1.1*.

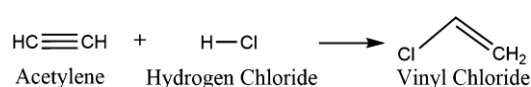


Figura 1.1: Reacció de formació del clorur de vinil.

La planta a dissenyar es troba al polígon industrial “Gasos Nobles” situat a la ciutat de Sabadell. Per a la seva construcció s'ha de tenir en compte, entre d'altres, la normativa i legislació vigent corresponent a la localització, de medi ambient i de seguretat i emmagatzematge.

Les especificacions bàsiques del projecte són les següents:

- Producció de 16.500 Tm anuals de clorur de vinil (líquid) amb una puresa mínima del 99.95%.
- Funcionament de la planta 300 dies a l'any amb parades per al manteniment de la planta.
- Producte amb una pressió mínima de 5 bar i una temperatura màxima de 37 °C.

1.1.2 Abast del projecte

En el projecte es contemplaran les àrees següents:

- Unitats de procés i reacció per la producció del clorur de vinil.
- Emmagatzematge del producte.
- Àrees de serveis.
- Oficines, laboratoris i vestuaris.
- Àrees auxiliars (aparcament, control d'accés, contra incendis, depuració d'aigües i gasos).

També es tenen en compte tots els aspectes següents:

- Disseny i especificació de tots els equips de la planta.
- Disseny i especificació del sistema de control de tots els processos.
- Disseny del sistema de seguretat i higiene de la planta.
- Estudi de l'impacte medi ambiental de la planta.
- Estudi de la viabilitat econòmica del procés.
- Estudi de la posada en marxa i operació de la planta.
- Proposta de possibles millores del procés.

1.1.3 Localització de la planta

La planta del projecte es troba situada al municipi de Sabadell, una de les capitals del Vallès Occidental.



Figura 1.2: Situació geogràfica de la ciutat de Sabadell.

La parcel·la, situada al polígon industrial Gasos Nobles, presenta una superfície total de 70.095 m² conjuntament amb els serveis bàsics detallats a la *taula 1.1*.

Taula 1.1: Serveis disponibles a la planta.

Servei	Connexió
Energia elèctrica	Línia de 20 kV a peu de parcel·la
Gas natural	A peu de parcel·la a mitja pressió (1.5 kg/cm ²)
Clavegueram	Xarxa unitària al centre del carrer a una profunditat de 3.5 m
Aigua d'incendis	La màxima pressió és de 4 kg/cm ²
Aigua de xarxa	A peu de parcel·la a 4 kg/cm ² amb un diàmetre de 200 mm
Terreny	Resistència del terreny de 2 kg/cm ² a 1.5 m de profunditat

1.1.3.1 Paràmetres d'edificació de la parcel·la

Els paràmetres d'edificació segons la normativa urbanística per al polígon industrial *Gasos Nobles* es detallen a la *taula 1.2*.

Taula 1.2: Paràmetres edificació per al polígon industrial "Gasos Nobles"

Edificabilitat	1.5 m ² sostre/m ² terra
Ocupació màxima de la parcel·la	75%
Ocupació mínima de la parcel·la	20% de la superfície d'ocupació màxima
Retranquejos	5 metres a vials i veïns
Alçada màxima	16 m i 3 plantes, excepte en producció justificant la necessitat pel procés
Alçada mínima	4 m i una planta
Aparcaments	1 plaça/150 m ² construïts
Distància entre edificis	1/3 de l'edifici més alt amb un mínim de 5 m

Seguidament, a la figura 1.3 es mostra el plànol de la parcel·la on s'ubicarà la planta de producció de clorur de vinil. Tal i com es pot observar les dimensions de la parcel·la són considerables i presenta un carrer (*C./ DE L'HELI*) de gran amplada on s'ubicarà l'entrada principal al complex.

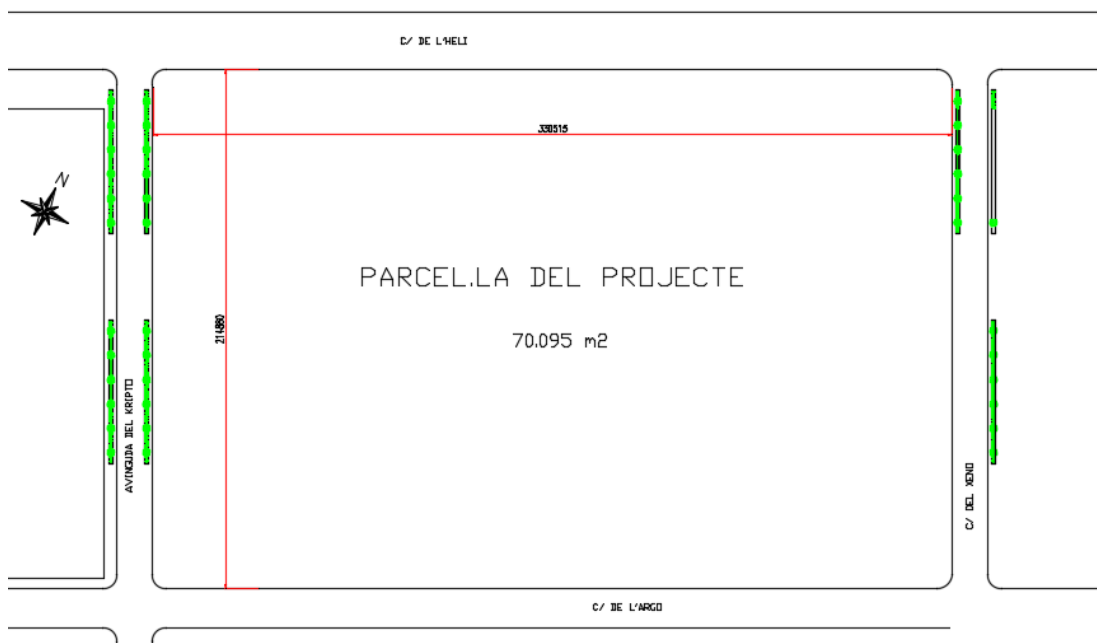


Figura 1.3: Plànol de la parcel·la on s'ubicarà la planta.

1.1.3.2 Avaluació de les comunicacions y accessibilitat de la planta

Les comunicacions i l'accessibilitat a la planta són fonamentals pel bon funcionament i operació d'aquesta. L'accessibilitat a una gran xarxa de comunicacions potencia la sortida i distribució del producte acabat, augmentant així la competitivitat econòmica de l'empresa.

La planta està situada al terme municipal de Sabadell, ciutat ubicada en la comarca del Vallès Occidental, a una distància d'uns 20 quilòmetres de Barcelona. El fet de que la planta estigui situada a prop de la ciutat de Barcelona fa que tingui unes vies de comunicacions privilegiades, tant a nivell de la Península Ibèrica com a nivell europeu, i fins i tot amb la resta de països d'altres continents. Les diferents vies de comunicació i d'accés a la planta són la xarxa viària, la xarxa ferroviària, el transport marítim i l'aeri.

- **Xarxa viària:** El transport per carretera esdevé molt important per l'accés a la planta. Aquesta està envoltada d'una àmplia xarxa de carreteres, autovies i autopistes. L'autopista C-58 connecta Barcelona amb Manresa passant per l'oest de Sabadell. Una altra autopista important sobretot a nivell nacional és la AP-7, que travessa tota la comarca del Vallès Occidental en direcció est-oest i connecta tant amb la comarca de Tarragona, que conté grans indústries petroquímiques i el port marítim més gran d'Espanya, com amb la Comunitat Autònoma de Valencia i al nord amb l'estat de França. La A2/AP2 comunica Barcelona, amb la comarca de Girona i l'estat de França en una direcció, i amb el centre de l'estat Espanyol en l'altra.

Altres carreteres que es poden destacar són:

- | | | |
|------------|---------|----------|
| • AP-7 | • C-16 | • C-1413 |
| • A-2/AP-2 | • C-33 | • C-1415 |
| • C-58 | • N-150 | • C-155 |

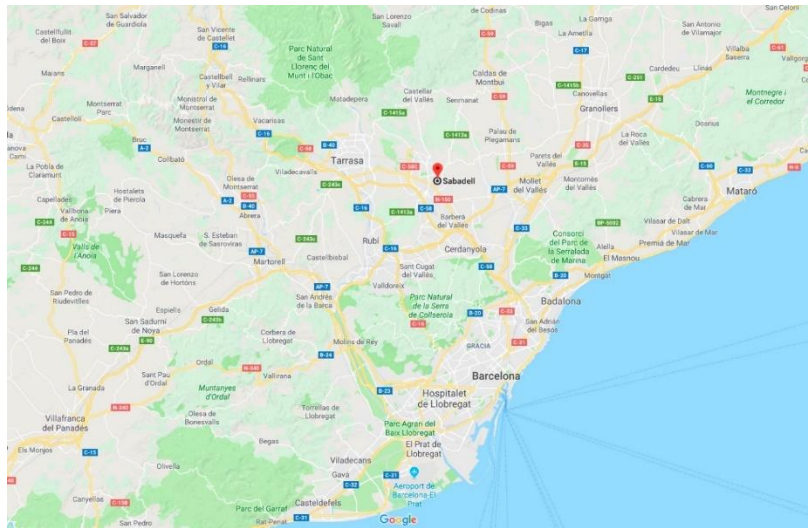


Figura 1.4: Xarxa viària que transcorre pel voltant de la ciutat de Sabadell.

- Comunicacions ferroviàries:** Les dues companyies de ferrocarril que operen a Catalunya tenen línies que passen per Sabadell són: Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC) unint Sabadell amb Barcelona i **RENFE** amb la línia que uneix Barcelona amb Lleida. A més, per Barcelona també passa l'AVE comunicant Madrid i el sud d'Espanya amb Catalunya, França, Alemanya, etc. Cal destacar també l'existència del corredor del mediterrani que avança paral·lel a la costa mediterrània i consisteix en un eix de mercaderies de gran importància de 3.500 km de longitud. El transport massiu de mercaderies en aquest proporciona una facilitat de moviments per a la indústria química que ajuda a l'impuls econòmic.



Figura 1.5: Xarxa ferroviària en el Corredor del Mediterrani.

- **Transport marítim:** Degut a la proximitat amb la ciutat de Barcelona, el Port de Barcelona esdevé essencial per la comunicació marítima del terme municipal on està situada la planta. El Port de Barcelona és la principal plataforma de transport marítim i serveis de Catalunya, i permet la importació i exportació de mercaderies, com poden ser les matèries primeres o serveis, arreu del món. Cal afegir que a 100 km aproximadament es situa el port de Tarragona, de gran importància a nivell estatal.
- **Transport aeri:** Pel que fa al transport aeri, a 40 km de la planta es troba el aeroport de Barcelona-El Prat. Aquest aeroport es troba a la 2^a posició del rànquing d'Espanya tant per tràfic de mercaderies com de passatgers, i en la 6^a posició del rànquing de la Unió Europea. Tot i que el transport aeri no és un mitjà molt utilitzat en el transport del tipus de mercaderies amb les que es treballaran en aquesta planta, aquest sí que és clau per al desplaçament de persones cap a la planta, permetent arribar amb més rapidesa que mitjançant altres tipus de transport. L'aeroport del Prat compta amb 182 destinacions connectats amb ell, majoritàriament concentrats a Europa incloent també les principals capitals de l'Amèrica del Nord i del Sud, Àsia i Àfrica tal i com es mostra a la *figura 1.6*.

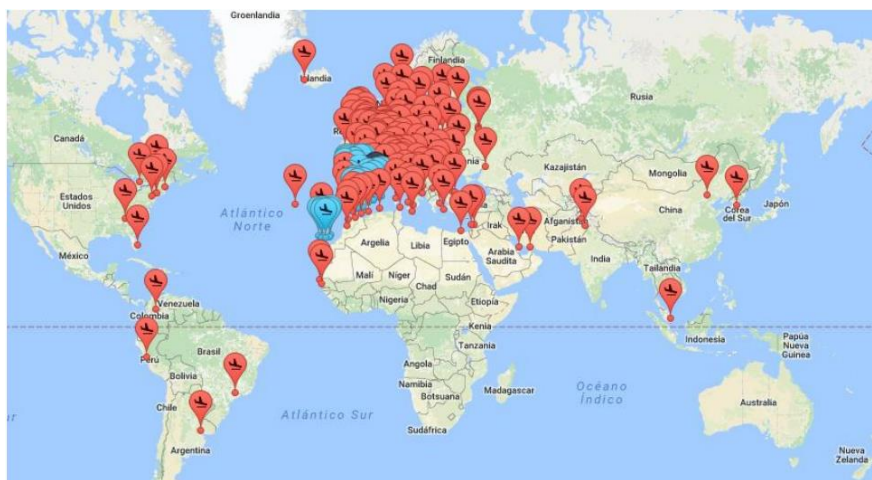


Figura 1.6: Destinacions del aeroport Barcelona-El Prat

1.1.3.3 Característiques del medi físic de l'entorn

- **Climatologia**

El clima del municipi de Sabadell es classifica com a mediterrani prelitoral central segons el *Servei Meteorològic de Catalunya*. L'estació de mesura de dades climatològiques més propera a la localització de la planta es situa en el Parc Agrari de Sabadell, a uns 3 km del centre de Sabadell. Pel que fa a la temperatura, la mitjana anual es de 15.4 °C, la temperatura mínima mitjana es d'uns 9.7 °C i la màxima mitjana 21.5 °C. A la *figura 1.7* es mostren les precipitacions de la zona acumulades anuals són de 441.6 juntament amb les temperatures mitjanes de tot l'any 2016.

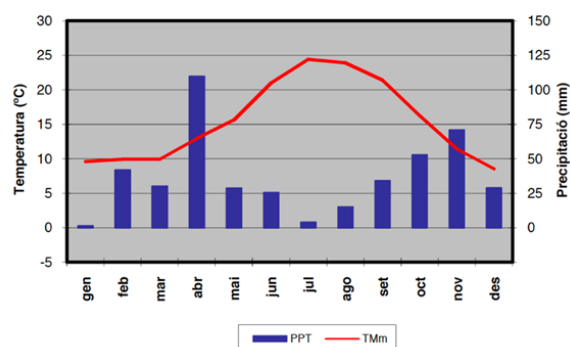


Figura 1.7: Dades tècniques registrades a l'estació meteorològica de Sabadell durant l'any 2016.

Per altre banda, la *figura 1.8* mostra les temperatures mitjanes màximes i mínimes durant l'any 2016 a Sabadell.

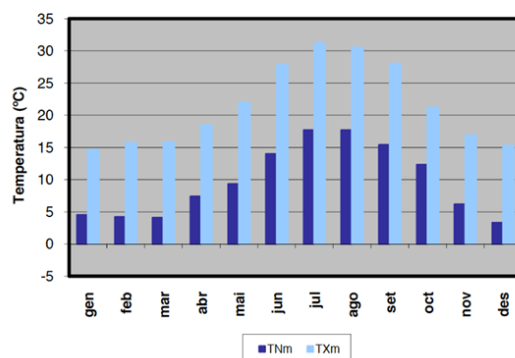


Figura 1.8: Temperatures mitjanes màximes (TXm) i mínimes (TNm) registrades a l'estació meteorològica de Sabadell durant l'any 2016.

Un altre factor a tenir en compte són les glaçades que es produeixen principalment entre els mesos de desembre i març. La *figura 1.9* recull els dies de glaçades (Temperatura inferior a 0°C) durant l'any 2016. Cal remarcar que la humitat relativa mitjana anual és el principal motiu d'aquestes glaçades ja que assoleix valors pròxims al 70%.

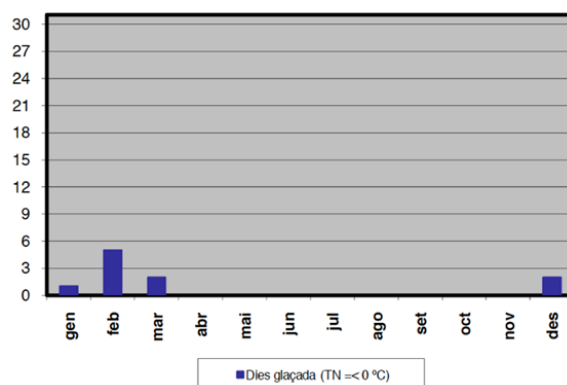


Figura 1.9: Glaçades mensuals registrades a l'estació meteorològica de Sabadell durant l'any 2016.

Per últim, cal observar també la direcció i velocitat del vent a la zona. La velocitat mitjana anual del vent es de 2.1 m/s (a 10m) amb W (Oest) com a direcció dominant del vent, amb un percentatge de calmes del 10.1%. La *figura 1.10* recull el percentatge de cada direcció del vent juntament amb les seves velocitats mitjanes anuals.

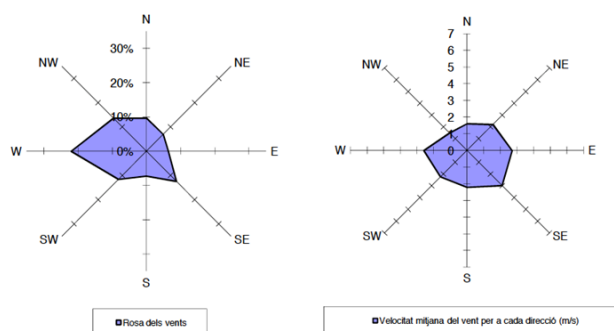


Figura 1.10: Dades de velocitats i direcció dels vents registrades a l'estació meteorològica de Sabadell durant l'any 2016.

- **Sismologia**

Segons un estudi realitzat per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (IGC), Catalunya es considera una zona d'activitat sísmica moderada tot i que existeix la possibilitat de que es produeixin terratrèmols amb un dany potencial. La zona de Sabadell es troba dins de la zona sísmica on la intensitat màxima detectada es de VII segons l'escala MSK (IGC,2016). A partir d'aquesta classificació el IGC avalua els danys que podrien produir-se a la zona.

1.2 CARACTERÍSTIQUES I PROPIETATS DELS COMPOSTOS

1.2.1 Producte d'interès: Clorur de vinil

El clorur de vinil és un gas incolor amb una olor característica. S'emmagatzema en forma de líquid comprimit i s'utilitza principalment per a la producció de policlorur de vinil (PVC), el qual s'usa per a la fabricació de diferents productes plàstics. La *figura 1.11* mostra l'estructura molecular d'aquest compost.

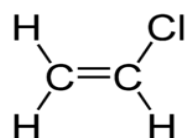


Figura 1.11: Estructura molecular del clorur de vinil.

En circumstancies específiques es poden formar peròxids, iniciant una polimerització explosiva, provocant perill d'incendi o explosió. Els gasos formats per la seva explosió són tòxics, per això s'ha de controlar el seu emmagatzematge. Les propietats físiques principals del clorur de vinil són les que s'indiquen a la *Taula 1.3*

Taula 1.3: Propietats físiques del clorur de vinil.

Propietat	Valor
Pes molecular	62.5 g/mol
Densitat	0.911 g/ml
Punt de fusió	-154 °C
Punt d'ebullició	-13.4 °C
Temperatura crítica	157 °C
Pressió crítica	5.6 Mpa
Solubilitat (a 20 °C)	2.7 g/L
Pressió de vapor (a 0 °C)	164 kPa
Viscositat (a -10 °C)	0.248 cP

1.2.2 Matèries primeres

- **Clorur d'hidrogen**

El clorur d'hidrogen (HCl) és un compost en forma gasosa a condicions normals de pressió i temperatura. En presència d'humitat es forma l'àcid clorhídric, el qual és tòxic i corrosiu en la majoria de metalls.

Hi ha dos mètodes principals d'obtenció:

- Per síntesi dels seus dos elements obtinguts de la reacció de clorur de sodi (NaCl) amb aigua (H₂O).
- Per reacció de l'àcid sulfúric (H₂SO₄) amb el clorur de sodi.

- **Acetilè**

L'acetilè és un hidrocarbur amb un triple enllaç entre els seus carbonis, com es pot veure a la *figura 1.12*. A condicions normals és un gas incolor altament inflamable, també és explosiu si s'emmagatzema a altes pressions, per evitar-ho normalment es dissol en acetona. Quan combustiona amb l'oxigen produeix altes temperatures (fins a 3000 °C), és per això que s'utilitza principalment en la soldadura de metalls. A més, també té un ampli ús en la indústria química.

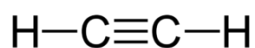


Figura 1.12: Estructura química de l'acetilè.

1.2.3 Altres compostos

- **Clorur de mercuri**

El clorur de mercuri (HgCl_2) és un sòlid blanc cristal·lí, amb un punt de fusió de $280\text{ }^\circ\text{C}$. És lleugerament volàtil a temperatures normals i té un punt d'ebullició de $320\text{ }^\circ\text{C}$. Aquest compost és molt tòxic per inhalació, ingestió o contacte amb la pell. S'ha utilitzat en la fotografia, fungicides, desinfectants o conservants de la fusta.

- **1,2-dicloroetà i 1-bromobutà**

El 1,2-dicloroetà o diclorur d'etilè és un hidrocarbur líquid inflamable que emet fums tòxics quan es descompon al escalfar-se. És insoluble en aigua i té un punt d'ebullició de $84\text{ }^\circ\text{C}$. S'utilitza principalment en la producció de clorur de vinil (VCM) per produir posteriorment PVC. Es produeix a partir de la reacció catalitzada de l'etilè amb el clor, amb clorur de ferro com a catalitzador. Per altre banda, el 1-bromobutà és l'inert que entra conjuntament amb els reactius d'acetilè i HCl . Aquest compost es caracteritza per ser un compost pesant i fàcilment separable en operacions unitàries de destil·lació.

1.3 PROCÉS D'OBTENCIÓ DEL CLORUR DE VINIL

1.3.1 Via de producció seleccionada

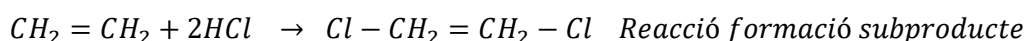
La producció de clorur de vinil és molt important al sector químic, ja que la polimerització d'aquest compost permet obtenir un dels plàstics més comuns al món, el PVC. Existeixen dues vies per a produir el clorur de vinil.

- Reacció de hidrocloració de l'acetilè amb clorur d'hidrogen (via utilitzada)
- Descomposició del 1,2-Dicloroetà (un dels subproductes formats)

Cal remarcar que la via utilitzada va deixar de ser competitiva a nivell industrial per l'aparició de camins més viables en àmbits econòmics i ambientals. Actualment, la indústria de producció de clorur de vinil es decanta per vies tals com la descomposició del 1,2-Dicloroetà esmentada anteriorment.

1.3.2 Reacció de formació del clorur de vinil

A la planta de *VinylWalk* es dissenya la síntesis de clorur de vinil mitjançant la reacció de hidrocloració de l'acetilè amb clorur d'hidrogen en fase gas, en presència de clorur de mercuri (II) com a catalitzador sòlid immobilitzat en carbó actiu. Com a reacció no desitjada, una part de l'acetilè i el clorur d'hidrogen es combinaran per formar 1,2-Dicloroetà, que serà el subproducte de la planta. Les dues reaccions són:



Segons les fonts bibliogràfiques consultades, la cinètica de la reacció emprada per a calcular les concentracions de sortida del reactor presenta la següent expressió:

$$r = \frac{(K_R \cdot K_H \cdot K_A \cdot P_A \cdot P_H)}{(1 + K_H \cdot P_H + P_V \cdot K_V) \cdot (1 + K_A \cdot P_A)} \left(\frac{\text{mol}}{\text{h} \cdot \text{gr cat}} \right)$$

On les diverses constants de reacció prenen les següents expressions:

$$K_R = \exp\left(15.71 - \frac{11.2}{1.987 \cdot 10^{-3} \cdot T}\right) (\text{mol/h} \cdot \text{gr cat})$$

$$K_H = \exp\left(-1.05 + \frac{1.87}{1.987 \cdot 10^{-3} \cdot T}\right) (\text{atm}^{-1})$$

$$K_V = \exp\left(-2.7 + \frac{3.2}{1.987 \cdot 10^{-3} \cdot T}\right) (\text{atm}^{-1})$$

$$K_A = 0.17 \text{ atm}^{-1}$$

I les pressions parcials dels compostos es calculen amb les següents equacions en funció de la constant R (0.082 l·atm/K·mol), les concentracions dels compostos i la temperatura:

$$P_A = C_A \cdot R \cdot T (\text{atm})$$

$$P_H = C_H \cdot R \cdot T (\text{atm})$$

$$P_V = C_V \cdot R \cdot T (\text{atm})$$

Tal i com es pot observar, la temperatura és una variable clau per obtenir altes velocitats de reacció que es tradueixin en rendiments de producció més eficients i elevats. El rang òptim de la reacció es situa entre els 110 °C i els 135 °C. No obstant, una temperatura superior als 120 °C produeix una sublimació del catalitzador de clorur de mercuri amb una conseqüent condensació a les parts més fredes del reactor. Aquest fet produiria desplaçaments del catalitzador immobilitzat i obturacions dels tubs afectats. Per tal de mitigar aquest greu problema que empitjoraria greument el procés, es selecciona una temperatura de treball de 120 °C per assolir el màxim rendiment possible sense perjudicar el catalitzador de clorur de mercuri. Per altre banda, cal remarcar que la presència de clorur de vinil en la reacció actua de forma inhibidora i per tan, en la recirculació dissenyada s'intentarà que la presència de clorur de vinil sigui tan petita com sigui possible.

L'etapa més crítica d'obtenció del clorur de vinil es situa a la zona de reacció, no obstant, el procés consta de moltes més etapes per tal d'obtenir el producte amb una alta puresa. El diagrama de blocs mostrat en la *figura 1.13* esquematitza de forma general les diferents etapes del procés, mentre que la *figura 1.14 A* mostra el diagrama de procés on es detalla acuradament tot el procés principal de producció del clorur de vinil.

1.3.3 Diagrama blocs

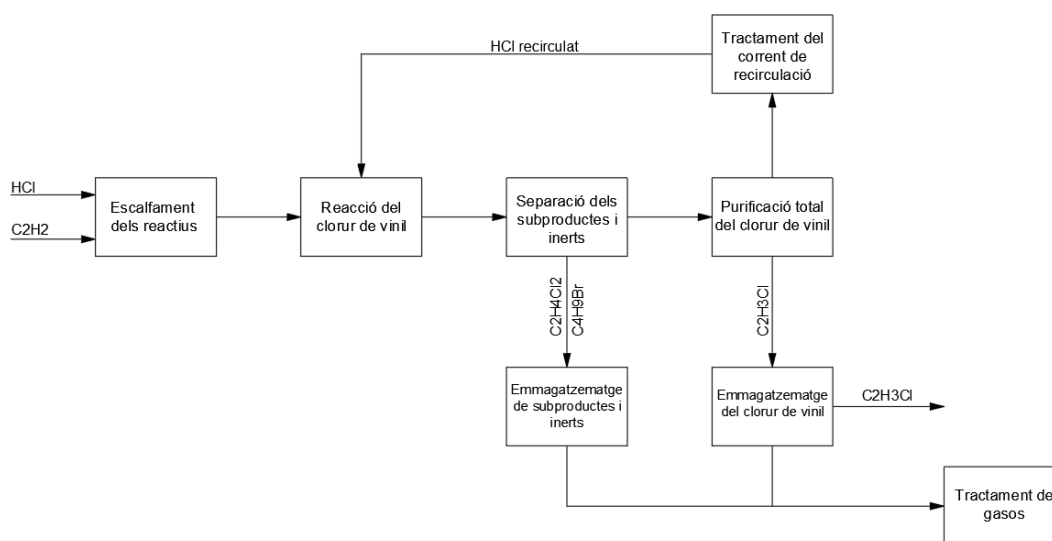


Figura 1.13: Diagrama de blocs del procés.

Tal i com es mostra en la *figura 1.13*, el procés de fabricació del clorur de vinil consta de cinc etapes de vital importància que ocupen el tronc principal de les instal·lacions de la planta. Per altre banda, les activitats d'emmagatzematge de tots els compostos produïts i del tractament de gasos es consideren com a etapes secundaries del procés. A continuació s'explicarà breument el procés, ja que en l'*apartat 1.3.4* es detallarà de forma precisa totes les etapes presents en la planta.

En primer lloc, s'escalfen els corrents de reactius (el corrent de HCl en excés) per assegurar una correcta reacció i s'introdueixen a la zona de reacció, on conjuntament amb el corrent ric de clorur de hidrogen es dona lloc la reacció del clorur de vinil.

En segon lloc, es purifica el corrent de clorur de vinil del 1-bromobutà introduït amb els reactius i del dicloroetà produït a la zona de reacció. Aquestes dues substàncies s'envien a una zona habilitada d'emmagatzematge.

En la següent etapa es purifica totalment el corrent de clorur de vinil de l'excés de clorur d'hidrogen introduït a la primera etapa i es tracta tèrmicament per tal de recircular-lo fins a la zona de reacció. El corrent de clorur de vinil pur assoleix una puresa superior al 99.95% i es fa circular fins a una zona habilitada d'emmagatzematge. Finalment, cal remarcar l'etapa de tractament de gasos que recull emissions gasoses de les etapes anteriors per tal d'assegurar una correcta eliminació de les substàncies més nocives.

1.3.4 Diagrama procés

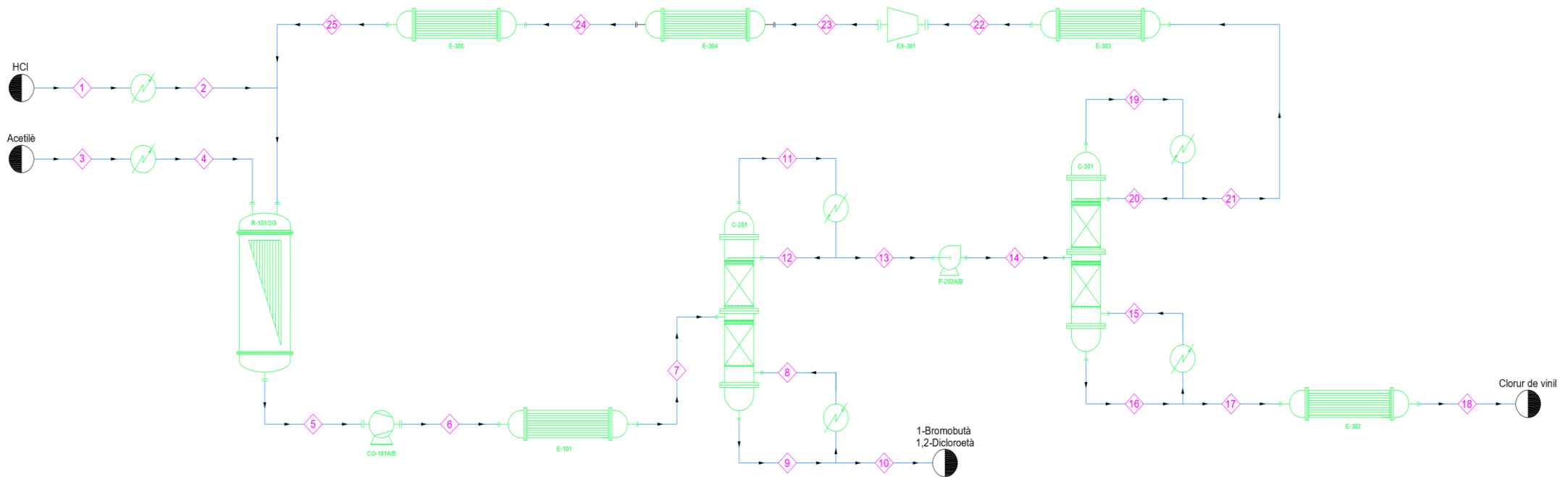


Figura 1.14 A: Diagrama del procés de producció de clorur de vinil

En la primera etapa del procés, tal i com s'ha esmentat anteriorment, cal condicionar els reactius per assegurar una òptima reacció de formació de clorur de vinil. En la *taula 1.4* es mostren les característiques dels corrents d'acetilè i HCl utilitzats en el procés.

Taula 1.4: Propietats dels corrents de reactius d'entrada.

	HCl	Acetilè
Cabal (m³/h)	668.4	667.14
Temperatura (°C)	5	5
Puresa	99.97	99.97
Pressió (bar)	1.4	1.4

Aquesta etapa de preparació consisteix en augmentar la temperatura dels corrents d'acetilè i HCl de 5°C fins a 80 °C. El motiu d'aquesta activitat recau en la forta dependència de la cinètica de reacció amb la temperatura. Segons l'equació cinètica de la reacció i varies fonts bibliogràfiques, la temperatura òptima de la reacció oscil·la entre els 100 °C i 140 °C. Per motius esmentats anteriorment, la temperatura d'operació és de 120 °C i es veuria perjudicada per l'entrada dels reactius a baixa temperatura. Augmentant la temperatura dels reactius fins a 80°C es mitiga l'efecte negatiu que produiria aquest fet sobre la reacció de formació del clorur de vinil i assegura un control estable mitjançant els diversos llaços instal·lats als reactors.

Un cop la temperatura dels corrents assoleix els 80 °C, la recirculació provinent de la segona destil·lació s'adjunta al corrent de HCl introduït al reactor. Aquest fet produeix que la relació entre els reactius introduïts sigui de 1.2 cops més de HCl, assegurant la total reacció d' l'acetilè que es caracteritza pel seu elevat preu.

Els dos reactius entren dins la zona de reacció on es forma el clorur de vinil en major proporció i el subproducte 1,2-dicloroeta. S'utilitzen tres reactors multi tubulars (R-101,R-102 i R-103) amb el catalitzador de clorur de mercuri immobilitzat al seu interior i refrigerants amb un corrent d'aigua circulant per la carcassa. El corrent de sortida dels reactors presenta una composició del 87,1 % de clorur de vinil, conjuntament a un 10,3% de HCl en excés i traces de 1-bromobutà i 1,2-dicloroeta.

Seguidament, aquest corrent de 1168 m³/h s'introdueix a un compressor per tal d'augmentar la pressió de cabal de 1.4 atm fins a 2.4 atm. Amb aquesta acció la pressió del corrent d'entrada a la primera columna i la pressió d'operació d'aquesta s'equiparen i asseguren un correcte funcionament. Cal remarcar que la pressió del procés s'augmenta per tal de disminuir la temperatura requerida al condensador de la columna, evitant operar en un àmbit extrem de criogènia que encarriria els costos de serveis i de materials considerablement.

La primera columna de destil·lació (C-201) presenta unes dimensions reduïdes (veure *Capítol 2: Equips*) degut a la poca volatilitat del 1,2-Dicloroeta i 1-bromobuta. Aquesta primera destil·lació separa totalment aquests dos compostos no desitjats i els extreu per l'inferior de la zona d'esgotament de la columna. No obstant, la temperatura necessària per obtenir un corrent considerablement pur de clorur de vinil per la zona de rectificació de la columna és de -28 °C, fet que encareix el procés en l'àmbit del servei refrigerant a utilitzar. Mitjançant un tanc pulmó (T-201) i un joc de bombes es garanteix un cabal constant tan de reflux com d'aliment al tanc pulmó (T-202) que precedeix la segona columna (C-301).

Aquest corrent parcialment pur presenta una composició del 89% de clorur de vinil, precisant d'una segona destil·lació per assolir la puresa demandada del 99,95%.

La segona destil·lació es du a terme en el sistema de separació encapçalat per la columna C-301. Aquesta columna presenta unes dimensions superiors a l'anterior i treballa a una pressió de 10 atm per evitar que la temperatura del cap de la columna sobrepassés els -60 °C. Per tal d'assegurar un cabal d'aliment a les mateixes condicions que la columna, s'instal·la un tanc pulmó 0.744 m³ per garantir un cabal constant a una bomba centrífuga (P-202A/B) encarregada d'augmentar la pressió del corrent de 2.4 a 10 atm.

Per les cues de la columna C-301, s'extreu el cabal pur de clorur de vinil i es refreda amb un bescanviador de carcassa i tubs (E-302) per tal d'assegurar un emmagatzematge a les condicions demandades. Per altre banda, el corrent extret pel cap de la columna presenta una composició majoritària de HCl que es recircula fins als tres reactors R-101, R-102 i R-103. Cal remarcar que aquesta columna de destil·lació no utilitza bombes en realitzar el circuit de recirculació degut a la alta pressió en la que treballa. La poca distància entre les àrees i les activitats realitzades en la recirculació fa que sigui prescindible i innecessari augmentar la pressió del fluid. La recirculació consta d'un primer bescanviador (E-304) per tal d'augmentar la temperatura del líquid i realitzar un canvi de fase total. Un cop el corrent ric en HCl es compona totalment en fase gas, s'utilitza un turboexpansor (EX-301) per tal de disminuir la pressió del cabal de 10 fins a 1.4

atm i recuperar l'energia alliberada. A continuació dos bescanviadors (E-305 i E-306) augmenten la temperatura del corrent gasos fins als 80 °C per tal de mesclar-se correctament amb el corrent de HCl d'entrada sense produir oscil·lacions de temperatura en els reactors.

El corrent obtingut de la part d'esgotament de la columna presenta una composició total de clorur de vinil i un cabal de màssic de 21.970 tones/ any. Tota aquesta quantitat s'emmagatzema en forma líquida dins de dos tancs de tipus GLP situats a la zona d'emmagatzematge per tal de la seva periòdica càrrega mitjançant camions cisterna.

Tot i no aparèixer en el diagrama del procés degut a la seva eventualitat d'activació, cal fer un esment de la zona de tractament de gasos present a la planta. La poca volatilitat dels subproductes i inerts presents al procés produeixen una manca d'emissions atmosfèriques constants. No obstant, tots els equips estan equipats amb sistema de seguretat d'evacuació de tota la carrega continguda al seu interior en cas majoritari de sobrepressió (menys el vintè de la zona d'emmagatzematge). Per tal de mitigar aquestes emissions, es dota la planta d'un sistema scrubber (SC-601) i una torxa de seguretat (TO-601) per tal d'assegurar el tractament dels gasos en cas de vintè o accident.

1.4 CONSTITUCIÓ DE LA PLANTA

En el present apartat es descriu la distribució de totes les instal·lacions necessàries per a produir les 16.500 tones anuals de clorur de vinil. La parcel·la en la que es durà a terme la instal·lació presenta una àrea total de 70.095 m², el que suposa una àmplia superfície d'operació. Per tal de seccionar la zona en funció de les tasques a realitzar, es fracciona el conjunt de superfície en 14 àrees diferenciades.

Aquesta distribució té en compte les necessitats de cada zona, optimitzant els desplaçaments i ajuntant les àrees que presentin tasques similars. Tanmateix, es disposen de grans superfícies d'ampliació situades al costat de les àrees més susceptibles a ser ampliades per afrontar futurs augments de demanda i producció.

Aquesta distribució de la planta aprofita els diversos espais i dota de potents infraestructures de comunicació tota la superfície, disminuint al mateix temps el risc d'accidents, facilitant el treball dels diversos departaments presents a les instal·lacions i incrementant la capacitat de producció general de la instal·lació.

1.4.1 Distribució per àrees

Les diverses activitats de la planta es seccionen en 14 àrees; 8 d'elles dedicades activament en el procés de producció i les 7 restants dedicades a gestions administratives i anàlisi/optimitzacions del procés. En la *taula 1.5* s'enumeren les diverses àrees assignades de la planta situades a la parcel·la en la *figura 1.15*.

Taula 1.5: Àrees de la planta de VinylWalk

Àrea	Descripció
000	Condicionament dels reactius
100	Zona de reacció
200	Purificació (I)
300	Purificació (II)
400	Zona d'emmagatzematge
500	Serveis
600	Tractament de residus gasosos
700	Oficines
800	Manteniment
900	Laboratoris
1000	Medi ambient, seguretat i enginyeria
1100	Magatzem
1200	Pàrquing (I)
1300	Pàrquing (II)
1400	Sala de control

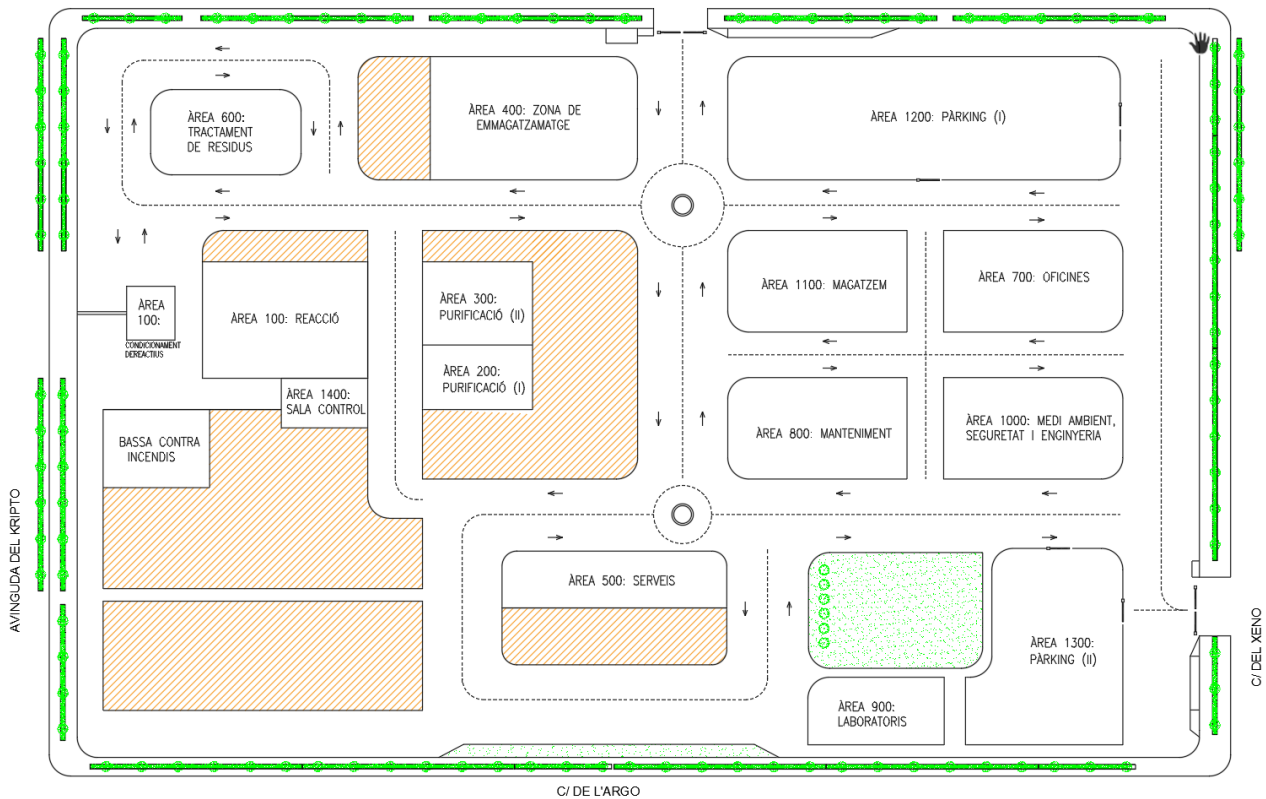


Figura 1.15: Distribució de les diverses àrees en la superfície total de l'empresa.

En la figura 1.15 es mostra la distribució de les àrees esmentades en la taula 1.5 al llarg de tota la parcel·la. Tal i com es pot apreciar en la figura, les àrees dedicades directament a la producció de clorur de vinil es situen a la meitat esquerra de la parcel·la. Aquest fet afavoreix la concentració de les activitats en una zona reduïda, disminuint els costos de transport i aïllant les zones administratives de les àrees més perilloses com són la 100, 200 i 300. La proximitat entre aquestes àrees disminueix la pèrdua de temperatura i pressió dels fluids de procés i serveis que circulen a través d'elles. A més, totes les zones d'ampliacions previstes també es situen en la zona de producció per seguir tenint una estructura centralitzada en cas de futures ampliacions.

La sala de control intenta situar-se a una distància inferior de les àrees 100, 200 i 300 degut a la alta presència d'instrumentació i sistemes automatitzats, disminuint considerablement el preu del sistema de control a través de la reducció del cablejat del bus de comunicació (*Profibus*) empleat en tota la planta.

Cal remarcar que la zona de tractament de residus gasos es situa tan allunyada com sigui possible de la zona administrativa i de gestió per millorar les condicions de treball de la zona.

La zona d'emmagatzematge es situa de forma continua a l'entrada principal de la planta per evitar la circulació dels camions cisterna pertinents per l'interior de la planta.

Per altre banda, a la secció situada a la dreta de la figura 1.15 es concentren les àrees amb funcions menys participatives de forma directa amb el procés de producció. D'aquesta manera, el magatzem i manteniment es situen just davant de la zona de producció per tal de facilitar les activitats de transport de materials i equips entre les dues seccions diferents. La zona més allunyada de l'activitat productiva es situen els edificis dedicats a gestions més administratives.

Les dues àrees de aparcament es situen estratègicament al costat de les dues entrades de la planta per evitar de nou la circulació de vehicles a l'interior de la planta. A més, es situen allunyades de les zones de producció per evitar la circulació del personal sense *EPI's* per l'interior de les instal·lacions on és més susceptible que succeeixi un accident laboral.

1.4.1.1 Àrea 000

L'àrea 000 és la primera àrea productiva del procés dissenyat. La tasca d'aquesta zona és principalment l'acondiciament dels corrents d'acetilè i HCl per assegurar una bona reacció en l'àrea 100. La necessitat d'aquesta àrea és per raons termodinàmiques i cinètiques que interfereixen directament en la reacció de formació de clorur de vinil. Tal i com s'explica en l'*apartat 1.3.2*, la temperatura és una variable molt susceptible en la reacció de formació de clorur de vinil, ja que la velocitat de reacció augmenta conjuntament amb ella però afecta greument al catalitzador si sobrepassa els 120 °C. Aquest fet es tradueix en un control absolut i minucios de la temperatura dels reactors per tal d'assegurar que les condicions de reacció siguin de 120°C. No obstant, els corrents de reactius entren a dins del conjunt industrial a una temperatura de 5°C, fet que reduiria la temperatura dels reactors provocant oscil·lacions en el sistema de control i empitjorant el rendiment de reacció.

Per tal de mitigar la baixa temperatura dels cabals d'entrada de reactius es crea l'àrea 000, que es constitueix bàsicament per dos bescanviadors de carcassa i tubs denominats com E-001 i E-002 que augmenten la temperatura de cada un dels cabals de 5°C fins a 80°C utilitzant un servei de vapor a alta pressió.

Aquesta àrea és molt propera a les àrees de reacció purificació i emmagatzematge per reduir els costos de transport, accessoris i instrumentació de la planta per augmentar la competitivitat econòmica.

1.4.1.2 Àrea 100

L'àrea 100 es defineix com el tronc principal de l'activitat productiva de la planta i ocupa aproximadament 1500 m² de la superfície de la parcel·la. Els equips principals situats en aquesta secció són els tres reactors multi tubulars de 8 metres de longitud encarregats de realitzar tota la demanda de clorur de vinil. Cal remarcar que la seva disposició vertical fa necessària la presència de dues plantes per tal d'augmentar l'accessibilitat d'aquests equips.

Per altre banda, en aquesta àrea també es situen els compressors encarregats d'augmentar la pressió al corrent de producte i un primer bescanviador de carcassa i tubs amb la tasca de reduir la temperatura del gas per assegurar una correcta separació en l'àrea 200.

Aquesta àrea es situa al centre de les zones que participen activament en el procés de producció per afavorir la comunicació entre elles i crear una xarxa ràpida i menys costosa de transport de serveis i substàncies. A més, la sala de control es situa contínuament a aquesta àrea per tal de disminuir els costos del sistema DCS implementat a la planta.

1.4.1.3 Àrea 200

L'àrea 200 és la primera zona de purificació del clorur de vinil produït a la àrea 100. Degut a la alta presència de subproductes i inerts, es disposa d'un sistema de destil·lació constituït per una columna empacada (C-201) per tal de realitzar una primera separació. A més, es disposa d'un tanc pulmó (T-202) per assegurar un corrent continuu d'aliment a la segona columna de purificació (C-301). D'aquesta àrea surten tres conduccions bàsiques:

- Clorur de vinil purificat fins a l'àrea 300
- Subproductes i inerts fins l'àrea 400
- Residus gasosos fins l'àrea 600

Aquesta àrea es disposa al costat de la segona àrea de purificació de manera que la pèrdua de pressió i temperatura del corrent de clorur de vinil purificat és mínima.

1.4.1.4 Àrea 300.

L'àrea 300 es classifica com la segona purificació del clorur de vinil parcialment tractat. En aquesta zona un sistema de destil·lació format per una columna empacada (C-301) purifica fins a la puresa desitjada el producte i l'envia a l'àrea 400 amb unes condicions determinades obtingudes a partir del bescanviador de carcassa i tubs E-302. Per altre banda, tal i com s'ha explicat anteriorment, també es situa en aquesta àrea el tren de bescanviadors (E-303/4/5) encarregat de dur a terme la recirculació.

Aquesta zona es situa al costat de l'àrea d'emmagatzematge degut al gran volum de clorur de vinil transportat fins als tancs d'emmagatzematge corresponents. Les dues àrees de purificació ocupen aproximadament 1200 m² de la parcel·la i els dos edificis disposen de dues plantes degut a les dimensions dels equips (veure [Capítol 2: Equips](#)). A més, es disposen de 2800 m² més per a futures ampliacions d'aquesta secció.

1.4.1.5 Àrea 400

L'àrea 400 presenta la funció d'emmagatzemar el clorur de vinil provinent de l'àrea 300 en dos tancs de 260 m³ i els subproductes/inerts en dos tancs de 25.5 m³. Cal remarcar que aquesta àrea es situa al costat de l'entrada principal de la planta per assegurar una bona accessibilitat dels camions cisterna que carregaran de les substàncies produïdes. Degut a les elevades dimissions dels tancs i la perillositat de la zona, es dediquen prop de 2000 m² a aquesta activitat juntament amb 600 m² més destinats a ampliacions.

1.4.1.6 Àrea 500

En l'àrea 500 es situen tots els serveis necessaris per tal d'assegurar el funcionament de la planta. Tots els serveis es detallen en l'apartat 1.5 d'aquest mateix capítol. Aquesta àrea disposa de 1000 m² destinats als serveis i 1000 m² més destinats a ampliacions.

1.4.1.7 Àrea 600

L'àrea 600 es destina al tractament de residus gasosos provinents de les diferents àrees de producció, especialment de les àrees 200, 300 i 400. Es disposa d'un scrubber bàsic de via humida (SC-601) i una torxa de seguretat (TO-601) per assegurar la tasca de tractar les emissions gasoses.

Tal i com s'esmenta anteriorment, l'àrea 600 s'allunya del centre principal d'activitat i de la zona amb més densitat de treballadors per tal d'assegurar unes bones condicions de treball. L'àrea en qüestió ocupa aproximadament 700 m² i no disposa d'ampliacions degut a la poca activitat d'aquesta.

1.4.1.8 Àrea 700

L'àrea es constitueix el gruix principal d'oficines de la planta. En aquesta zona es realitzaran tasques administratives realitzades per la direcció tècnica, el departament de recursos humans i el departament comercial.

L'àrea es situa lluny de la zona de producció degut a la poca intervenció directa d'aquesta zona amb el procés general. Les zones de pàrquings es situen conjuntament a les oficines per evitar l'acumulació de personal dins les instal·lacions més perilloses de la planta.

1.4.1.9 Àrea 800

L'àrea 800 alberga la zona de manteniment de la planta. Aquesta zona es dedica a realitzar les activitats de manteniment de totes les instal·lacions i a revisar accessoris i instrumentació en el taller que es disposa en la part més propera a la zona de producció.

1.4.1.10 Àrea 900

L'àrea 900 està formada pel laboratori intern de la planta. La seva tasca principal és analitzar les mostres recollides en el procés i avaluar la seva composició pel departament de qualitat. A més, també es duen a terme activitats de recerca pel departament de I+D.

1.4.1.11 Àrea 1000

L'àrea 1000 acull els departaments de seguretat, medi ambient i normativa. Aquest edifici es constitueix bàsicament d'oficines per tal d'assegurar el compliment de la legislació vigent i l'optimització del procés per part del departament d'enginyeria.

1.4.1.12 Àrea 1100

L'àrea 1100 és un espai dedicat a l'emmagatzematge de elements necessaris per assegurar la continuïtat del procés en cas d'averia d'algun dels sistemes. La zona constarà de grans estanteries amb stock d'accessoris, instrumentació i els equips més petits. A més, contarà amb un pàrquing de toros mecànics per a realitzar transports dins de la empresa.

Les àrees 800, 900, 1000 i 1100 ocupen un total d'aproximadament 5500 m² i s'agrupen en la mateixa secció de la planta formant un espai allunyat de les activitats industrials més abundants.

1.4.1.13 Àrea 1200 i 1300

Les àrees 1200 i 1300 es dediquen a zones d'aparcament pel personal de la planta. El pàrquing de dimensions superiors és el de l'àrea 1200 ja que es situa al costat de l'entrada principal a l'empresa. Les places d'aquest aparcament ascendeixen fins a 92, mentre que les de l'aparcament de l'àrea 1300 assoleixen un nombre de places de 48.

En total, les places d'aparcament assoleixen les 1400 degut a que la superfície total construïda en la parcel·la és d'aproximadament 21.000 m² i la normativa vigent regula que per cada 150 m² construïts és necessària una plaça d'aparcament. A més, degut a que l'empresa supera la

quantitat de treballadors marcada per la normativa vigent, un 2% de les places d'aparcament ha d'estar reservada a persones amb discapacitats físiques, el que equival a la reserva de 3 places d'aparcament.

1.4.1.14 Àrea 1400

L'àrea 1400 allotja la sala de control des de on es monitoritza i controla tot el procés. Aquesta zona es situa al centre dels edificis amb alta activitat d'automatització per tal de disminuir les dimensions de la xarxa tipus DCS instal·lada.

1.4.2 Plantilla de personal

D'acord amb les àrees esmentades en l'apartat anterior i dels departaments existents descrits al Capítol 9: Operació en planta, es defineix la quantitat de personal necessari en funció de les activitats realitzades. La taula 1.6 classifica els diferents perfils del personal i el numero de treballadors contractats.

Taula 1.5: Personal disponible en la planta

Càrrec	Nº Treballadors
Operaris	30
Caps de planta	5
Manteniment	10
Seguretat/Medi Ambient/ Enginyeria	5
Oficines	8
Laboratoris	8
Directius	2
Logística	8
Comercials	5
Qualitat	5

1.5 BALANÇ DE MATÈRIA

En el present apartat es representen els fluxos volumètrics i màssics dels diferents corrents del procés conjuntament amb els condicions en les que circulen. Els corrents que s'enumeraran a la *taula 1.6* referencien a la figura 1.14 A mostrada en l'*apartat 1.3.4*. No obstant, per facilitar la lectura dels valors i contrastar-los amb el diagrama s'adjunta de nou l'esquema del procés en la representació anomenada *figura 1.14 B*.



Pàgina 32

CORRENT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Fase	G	G	G	G	G	G	G	G	L	L	G	L	L
Temperatura (°C)	5.00	5.00	80.00	80.00	120.00	160.00	35.00	52.00	13.29	52.00	4.79	-28.00	-28.00
Pressió (bar)	1.40	1.40	1.50	1.50	1.42	2.43	2.43	2.23	2.23	2.23	2.43	2.43	2.43
Densitat (kg/m3)	1.61	2.25	1.36	1.89	2.54	3.96	5.56	5.95	966.10	1132.00	6.09	994.20	994.20
Cabal volumètric (m3/h)	667.14	668.40	789.78	795.72	1168.50	749.49	533.81	205.91	1.36	0.08	376.30	-2.22	2.90
Cabal màssic (kg/h)	1074.10	1503.90	1074.10	1503.90	2968.00	2968.00	2968.00	1225.15	1310.76	85.61	2291.67	-2206.06	2882.00
Fracció màssica components													
Acetilè	0.984	-	0.984	-	0.003	0.003	0.003	-	-	-	0.003	0.000	0.003
Clorur d'hidrogen	-	0.989	-	0.989	0.103	0.103	0.103	-	-	-	0.106	0.009	0.106
Clorur de vinil	-	-	-	-	0.871	0.871	0.871	0.875	0.830	0.191	0.891	0.990	0.891
1,2-Dicloroetà	-	-	-	-	0.011	0.011	0.011	0.075	0.094	0.364	-	-	-
1-Bromobutà	0.016	0.011	0.016	0.011	0.013	0.013	0.013	0.051	0.077	0.446	-	-	-
CORRENT	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Fase	L	G	G	L	L	G	L	L	G	G	G	G	
Temperatura (°C)	-27.23	61.05	61.05	61.05	28.00	-2.02	-29.58	-29.58	20.60	-50.50	9.55	80.00	
Pressió (bar)	10.13	9.93	9.93	9.93	9.90	10.13	10.13	10.13	10.13	1.52	1.45	1.43	
Densitat (kg/m3)	993.90	825.60	22.33	825.60	897.00	17.40	1002.00	1002.00	17.30	3.25	2.42	1.90	
Cabal volumètric (m3/h)	2.90	5.31	1.35	3.04	2.80	32.28	0.19	0.37	21.64	115.20	154.71	197.05	
Cabal màssic (kg/h)	2882.00	4386.00	30.06	2508.00	2508.00	561.62	187.22	374.40	374.40	374.40	374.40	374.40	
Fracció màssica components													
Acetilè	0.003	-	-	-	-	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	
Clorur d'hidrogen	0.106	-	-	-	-	0.818	0.818	0.818	0.818	0.818	0.818	0.818	
Clorur de vinil	0.891	1.000	1.000	1.000	1.000	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161	
1,2-Dicloroetà	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1-Bromobutà	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

1.6 ESPECIFICACIONS I NECESSITATS DE SERVEIS A LA PLANTA

Aquelles operacions auxiliars al procés de producció principal que s'encarreguen de fer que aquest funcioni i sigui regulat són els que s'anomenen serveis de planta. Els serveis poden ser puntuals, és a dir, es requerirà una operació auxiliar en un moment puntuals, o constant, sempre és necessitarà un cert servei. Generalment, la utilitat dels serveis és aportar/retirar energia i/o matèria o realitzar un treball pel procés.

1.6.1 Serveis requerits per la planta

Els serveis sol·licitats seran proporcionats mitjançant un equip determinat que serà comprat a empreses que s'especialitzen en la construcció dels mateixos. Segons les necessitats de cada planta es necessitarà un model o un altre, segons potència, preu, etc.

1.6.1.1 Aigua de refrigeració a 20°C

La funció principal serà la de refredar un corrent determinat del procés. Es precisa d'una torre de refrigeració per tal de reduir la temperatura de l'aigua una vegada ha realitzat el seu treball i, per tant, ha augmentat la seva temperatura. Com que la planta està situada en una zona geogràfica on a l'estiu la temperatura ambient pot superar fàcilment els 30 °C, la torre no serà suficient en aquesta època, ja que depèn de la temperatura ambient i el màxim permisible per la torre és de uns 30 °C. És per això que s'ha decidit afegir també un chiller, el qual només s'utilitzarà durant els mesos d'estiu i, si es veu convenient, també al juny.

L'aigua de xarxa s'utilitzarà com a refrigerant en els bescanviadors, per tal de reduir la temperatura del fluid de procés i en els reactors multi tubulars instal·lats. A la *taula 1.7* es mostren els equips que precisen d'aquest tipus de servei.

Taula 1.7: Equips que precisen d'aigua refrigerant

EQUIP	CABAL MÀSSIC (kg/h)	CABAL VOLUMÈTRIC (m³/h)	CALOR BESCANVIAT (kW)	TEMPERATURA SORTIDA (°C)
R-101	35271.04	35.27	409.54	30
R-102	35271.04	35.27	409.54	30
R-103	35271.04	35.27	409.54	30
E-101	10000	10	99.80	27.95
E-302	10500	10.50	34.30	22.60
TOTAL	126313.11	126.31	1362.72	29.22

Per trobar el total s'han sumat els valors de cada equip pel que fa els paràmetres de cabal i el calor bescanviat. En canvi, per la temperatura de sortida, s'ha realitzat una mitjana ponderada, tenint en compte el percentatge que representa cada cabal respecte el total.

La torre i el chiller hauran d'aconseguir retirar 1362.72 kW del corrent total que arribi d'aigua utilitzada, que consta de 126.31 m³/h. A la *taula 1.8* es mostren les especificacions de la torre de refrigeració que s'ajusta millor a les necessitats de la planta.

Taula 1.8: Especificacions de la torre de refrigeració

ESPECIFICACIONS DE LA TORRE DE REGRIGERACIÓ	
Proveïdor	EWK
Model	EWK 900/09
Llargada/Amplada/Alçada (mm)	4415 / 2093 / 4485
Pes/Pes operació (kg)	1131 / 3917
Calor dissipada (kW)	1690

El concepte del funcionament d'una torre de refrigeració es basa en el fet que una massa d'aire fred i sec en contracorrent amb l'aigua calenta és capaç de captar part d'aquesta aigua i es refreda la resta. Això vol dir que es produeix una pèrdua d'aigua, per tant, farà falta reposar una quantitat igual a la perduda. Aquestes pèrdues s'han calculat per tal de realitzar la reposició necessària d'aigua. A la taula 1.9 es mostren les pèrdues efectuades per l'equip.

Taula 1.9: Pèrdues de la torre de refrigeració.

Tipus de pèrdues	Cabal (m ³ /h)
Per evaporació	1.96
Per purga	0.38
Totals	2.34

En cas que es precisi del funcionament del chiller pels motius ja esmentats, es necessitarà un equip capaç d'extreure 1362.72 kW de l'aigua. El model escollit ha estat el chiller *GEA BlueGenium 1200* de l'empresa GEA, el qual té una capacitat de refredament de 1210 kW, una mica inferior a la necessària. És per això que s'ha decidit d'instal·lar-ne 2 per que treballin conjuntament, assolint àmpliament la capacitat de refredament necessària i evitant el desgast excessiu que es produiria si treballessin a la seva màxima capacitat. La taula 1.10 recull les característiques tècniques d'aquests equips.

Taula 1.10: Especificacions del chiller utilitzat.

ESPECIFICACIONS DEL CHILLER	
Proveïdor	GEA
Model	BluGenium 1200
Llargada/Amplada/Alçada (mm)	5600 / 1200 / 2460
Pes (kg)	8600
Calor dissipada (kW)	1210
Quantitat	2



Figura 1.16: Chiller per a l'aigua de refrigeració, BlueGenium 1200.

1.6.1.2 Vapor d'aigua

La funció principal serà escalfar al fluid de procés necessari per tal que assoleixi les condicions necessàries per passar al següent equip. Per obtenir el vapor d'aigua s'utilitzarà una caldera de vapor. Pel seu funcionament, farà falta aigua descalcificada, per tal d'escalfar-la a la temperatura desitjada, gas natural i electricitat.

Bàsicament, el vapor d'aigua serà utilitzar per escalfar fluids de procés als bescanviadors de calor de la planta i per proporcionar als reboilers de les dues columnes la calor necessària per evaporar el fluid de la columna. Aquest vapor, però es trobarà a diferents pressions segons l'equip on sigui utilitzat, als bescanviadors de carcassa i tubs el vapor d'aigua estarà a 3 atmosferes de pressió, mentre que als reboilers el vapor d'aigua es trobarà una mica més pressuritzat, a 4 atmosferes. La taula 1.11 mostra els equips que precisen d'una alimentació continua de vapor a pressió.

Taula 1.11: Equips que precisen del servei de vapor.

EQUIP	PRESSIÓ (atm)	CABAL MÀSSIC (kg/h)	CALOR BESCANVIAT (kW)
E-001	3	5000	30.5
E-002	3	4000	39.3
E-303	3	2000	44
E-304	3	2000	5.2
E-305	3	2000	6.1

RB-201	4	7000	129.9
RB-301	4	18000	348.1
TOTAL		40000	603.1

Cal remarcar que durant la posada en marxa els tres reactors rebran un servei de pressió a 3 atmosferes per escalfar la zona de reacció prèviament de que s'iniciï el cicle de producció. Degut a l'eventualitat d'aquesta activitat, no es quantifica el vapor utilitzat.

Per abastir les necessitats del procés es caldrà aconseguir una caldera que sigui capaç d'aportar 603.1 kW de calor i pugui treballar amb un cabal de 40000 kg/h de vapor d'aigua. La caldera que s'ha utilitzat és el model ZFR de la marca BOSCH i les seves especificacions tècniques es recullen en la taula 1.12.

Taula 1.12: Especificacions tècniques de la caldera de vapor utilitzada.

MODEL	ZFR
Fluid	Vapor saturat
Tipus	Generador de vapor pirotubular, 3 passos i doble fogar
Producció	de 18.000 a 55.000 kg/h
Potència	2380 kW
Pressió de disseny	fins a 30 bar
Temperatura màxima	fins a 235°C
Combustibles	Gas, gasoil, fuel-oil



Figura 1.17: Representació de la caldera de vapor seleccionada.

El servei d'aigua que alimenta la caldera no pot ser d'aigua de xarxa, sinó que ha de ser descalcificada per no fer desgastar ràpidament la caldera. Per aquest motiu, s'instal·larà un equip descalcificador per abastir d'aigua descalcificada la caldera de vapor. Al model de caldera escollit se li pot afegir un mòdul de descalcificació d'aigua, de la mateixa marca BOSCH. El mòdul escollit ha estat el WSM-V, el qual pot arribar a tractar cabals d'aigua de fins a 80000 kg/h, superiors als 40000 kg/h que es necessita.



Figura 1.18: Mòdul WSM-V descalcificador d'aigua.

1.6.1.3 Nitrogen

Per inertitzar els equips de la planta com els reactors i els tancs, s'utilitza el nitrogen. Aquest evita la presència d'oxigen als equips, ja que l'oxigen pot provocar explosions en contacte amb substàncies inflamables, com és el cas d'aquesta planta, que utilitza acetilè en el seu procés. Per tant el nitrogen s'usa per un tema de seguretat a la planta. S'emmagatzemarà en un tanc criogènic i necessitarà un gasificador per ser subministrat als equips.

En el *Capítol 11. Manual de càlculs* s'ha calculat el cabal de nitrogen necessari per abastir la planta, obtenint així el volum en forma líquida a emmagatzemar suposant que es reposa cada un cert temps.

El cabal necessari de nitrogen líquid obtingut ha estat d'uns 120 litres/dia, havent moments concrets com en la posada en marxa en els quals se'n necessitarà uns 1000 litres per omplir tots els tancs i els reactors. Degut als consums d'aquest serveis, es reposarà periòdicament cada 15 dies.

El tanc criogènic escollit finalment ha estat el model més petit de la marca *Linde*, el qual té un volum de 3 m³. Les seves característiques es presenten a la *taula 1.13*.

Taula 1.13: Especificacions tècniques del servei de nitrogen.

MODEL	Cryogenic Standard Tank 30
Proveïdor	Linde
Volum	3 m ³
Material	Acer al carboni
Pressió de disseny	fins a 36 bar
Dimensions (m)	1,60x4,15
Pes (buit)	2600 kg

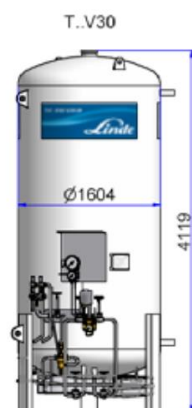


Figura 1.19. Representació del tanc d'emmagatzematge escollit.

1.6.1.4 Amoníac

Per tal de poder realitzar les funcions de separació a les columnes empacades, s'utilitzarà amoníac com a fluid refrigerant als condensadors, concretament a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. S'utilitza amoníac perquè és un fluid que la seva temperatura de congelació es troba a $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ i, presentant un marge de treball considerable. Cal recordar que les temperatures del condensador d'ambdues columnes es troben en uns -27 i -29°C respectivament.

Serà necessari utilitzar un equip refrigerant per retornar l'amoníac que s'ha escalfat, a la seva temperatura de treball a les columnes perquè la planta segueixi funcionant correctament. A la *taula 1.14* es mostren les característiques dels equips que precisen d'aquest tipus de servei.

Taula 1.14: Llistat d'equips que precisen amoníac.

EQUIP	CABAL MÀSSIC (kg/h)	CABAL VOLUMÈTRIC (m ³ /h)	CALOR BESCANVIAT (kW)	TEMPERATURA SORTIDA (°C)
E-201	15000	21.74	391.8	-28.69
E-301	10000	14.29	62.8	-44.83
TOTAL	25000	36.03	454.6	-35.146

Cal retirar un total de 454.6 kW del corrent d'amoníac per tal que aquest recuperi la seva temperatura inicial, és a dir, -50°C i pugui tornar a ser utilitzat al procés. També caldrà que es tingui en compte el cabal que serà necessari, és a dir, 36 m³/h.

Per tal de satisfer aquestes necessitats s'ha decidit contar amb dos chillers especials d'ultra baixa temperatura. El fet d'utilitzar amoníac a una temperatura tant baixa implica un gran cost per la planta, ja que la gran majoria de chillers no estan dissenyats per treballar a aquestes temperatures i, els que ho fan, no són capaços de bescanviar aquesta calor.

Finalment, s'ha optat per comprar dos chillers de la marca LNEYA, model LN-180W. Seran necessaris dos d'aquests perquè amb un sol no seria capaç de poder bescanviar tota la calor que caldria.



Figura 1.20: Chiller escollit pel procés, LN-180W LNEYA.

Les especificacions tècniques dels chilleres s'exposen a la *taula 1.15*.

Taula 1.15: Característiques del chiller d'amoníac.

ESPECIFICACIONS DEL CHILLER	
Proveïdor	LNEYA
Model	LN-180W
Llargada/Amplada/Alçada (mm)	4500 / 2000/2050
Pes (kg)	5600
Calor dissipada (kW)	360
Quantitat	2

1.6.1.5 Aire comprimit

Les vàlvules pneumàtiques necessiten aire comprimit per al seu funcionament, atès que a la planta hi ha varies d'aquestes vàlvules, s'ha d'instal·lar un tanc d'aire comprimit amb un compressor que el subministri a totes les vàlvules. A més, els bescanviadors que precisin de servei de refrigeració s'instal·la un servei d'aire comprimit per tasques de manteniment i neteja de conductes.

Com s'ha detallat al *Capítol 11. Manual de càlculs*, per a les 117 vàlvules neumàtiques que hi ha en tota la planta es necessita aproximadament un cabal d'aire comprimit de 350 m³/h. S'ha escollit el model *RTC60 A 10 CE* de la marca PUSKA, ja que compleix els requisits d'aire necessari. A la taula 1.16 es detallen les característiques tècniques del compressor.

Taula 1.16: Característiques tècniques del compressor.

ESPECIFICACIONS DEL COMPRESSOR	
Proveïdor	PUSKA
Model	RTC60 A 10 CE
Llargada/Amplada/Alçada (mm)	1247x1060x1630
Pes (kg)	862
Diàmetre de sortida	1 ½"
Cabal d'aire (L/min)	6817
Potència (kW)	45
Preu (€)	23000



Figura 1.21: Compressor RTC 60 de la marca PUSKA.

1.6.1.6 Aigua de xarxa

La funció de l'aigua de xarxa es abastir a tots els equips i els serveis necessaris a la planta d'aigua potable, així com altres necessitats que no tinguin res en comú amb el procés de producció, com per exemple, els lavabos o el magatzem. Aquesta aigua vindrà subministrada per una escomesa situada a peu de parcel·la, amb un diàmetre de 200 mm i una pressió d'uns 4 bars.

A la pressió a la que arriba ja es suficient per abastir tota la planta, per tant no serà necessari la instal·lació de cap bomba. El que sí que s'haurà de dissenyar són les canonades que portin aquesta aigua a cada àrea de la planta.

1.6.1.7 Aigua contra incendis

Tota planta industrial necessita una instal·lació contra incendis i explosions, en especial si hi intervenen productes inflamables com és el cas d'aquesta planta. L'aigua d'incendis s'encarrega de subministrar aigua a totes les àrees de la planta on hi ha equips especials per a l'extinció de focs.

Aquesta aigua arriba a la planta a una pressió d'uns 4 bars, però requereix d'una bassa per emmagatzemar l'aigua de reserva i un sistema de bombament per què l'aigua arribi a la pressió necessària allà a on pugui haver un incendi o explosió.

1.6.1.8 Gas natural

La funció d'aquest servei és aportar l'energia suficient per alimentar la caldera de vapor, el generador instal·lat en cas de fallada elèctrica que s'explicarà al següent apartat, així com oferir un servei de gas natural en cas de requerir-se en algun altre equip.

Per tal d'alimentar la caldera, que serà la funció principal, es necessitarà un cabal de 54.58 Nm³/h, calculat al *Capítol 11: Manual de càlculs*. El servei vindrà a través de la xarxa de gas natural, el qual arribarà a una pressió mitja, de 1.5 bars aproximadament.

1.6.1.9 Electricitat

L'electricitat es necessitarà per abastir tots els equips elèctrics de la planta que en necessitin, així com les instal·lacions d'oficines, la sala de control o la il·luminació de tota la planta.

Aquest servei arriba a través de la xarxa elèctrica situada a peu de parcel·la amb 20 kW, com que la majoria d'equips de la planta treballen a 380 W, caldrà instal·lar una estació transformadora per poder subministrar-la als equips.

En cas de fallada de la xarxa elèctrica, per poder seguir el procés amb normalitat sense haver d'aturar-lo, s'ha decidit afegir un generador d'emergència. Aquest equip funciona amb el gas natural que arriba a la planta. A l'apartat de serveis del *Capítol 2. Equips* es poden trobar les fitxes d'especificacions de tots els equips utilitzats per als serveis.

1.7 PROGRAMACIÓ TEMPORAL I MUNTATGE DE LA PLANTA

Per tal de concloure aquest primer capítol d'especificacions del procés, es fa referència a la programació temporal i al muntatge de la planta de producció de clorur de vinil. En les *figures 1.22 i 1.23* es presenten un model esquemàtic de la construcció de la planta, definint les tasques a realitzar, la durabilitat i l'ordre.

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	Enginyeria del detall	120 días	lun 3/9/18	vie 15/2/19	
2	Llicència d'obres i activitats	150 días	lun 11/6/18	vie 4/1/19	
3	Demanda d'equips	120 días	lun 18/2/19	vie 2/8/19	1
4	URBANITZACIÓ	355 días	lun 18/2/19	vie 26/6/20	
5	Neteja dels terrenys	30 días	lun 18/2/19	vie 29/3/19	1
6	Excavacions	50 días	lun 1/4/19	vie 7/6/19	5
7	Instal·lació de subministres	25 días	lun 10/6/19	vie 12/7/19	6
8	Vials i voreres	25 días	lun 10/6/19	vie 12/7/19	6
9	EDIFICACIÓ	250 días	lun 15/7/19	vie 26/6/20	
10	Edificació oficines	90 días	lun 15/7/19	vie 15/11/19	7
11	Aparcament	20 días	lun 15/7/19	vie 9/8/19	6;8
12	INSTAL·LACIÓ D'EQUIPS	235 días	lun 5/8/19	vie 26/6/20	
13	Àrea 400	30 días	lun 5/8/19	vie 13/9/19	3;7
14	Àrea 100	50 días	lun 5/8/19	vie 11/10/19	3;7
15	Àrea 200	20 días	lun 5/8/19	vie 30/8/19	3;7
16	Àrea 300	30 días	lun 5/8/19	vie 13/9/19	3;7
17	Àrea 500	50 días	lun 5/8/19	vie 11/10/19	3;7
18	Àrea 600	15 días	lun 5/8/19	vie 23/8/19	3;7
19	INSTAL·LACIÓ DE CANONADES	185 días	lun 14/10/19	vie 26/6/20	
20	Canonades de procés	40 días	lun 14/10/19	vie 6/12/19	13;14;15;16;18
21	Canonades de serveis	40 días	lun 14/10/19	vie 6/12/19	17
22	INSTRUMENTACIÓ	145 días	lun 9/12/19	vie 26/6/20	
23	Instal·lació d'instrumentació	30 días	lun 9/12/19	vie 17/1/20	20;21
24	Connexió instruments-equip	20 días	lun 20/1/20	vie 14/2/20	23
25	AÏLLAMENT	95 días	lun 17/2/20	vie 26/6/20	
26	Aïllament equips	20 días	lun 17/2/20	vie 13/3/20	24
27	Aïllament canonades	30 días	lun 17/2/20	vie 27/3/20	24
28	ACABATS FINALS	65 días	lun 30/3/20	vie 26/6/20	
29	Prova d'equips	20 días	lun 30/3/20	vie 24/4/20	26;27
30	Pintura	30 días	lun 27/4/20	vie 5/6/20	29
31	Neteja	15 días	lun 8/6/20	vie 26/6/20	30

Figura 1.22: Tasques a realitzar -ordenades pels criteris esmentats anteriorment

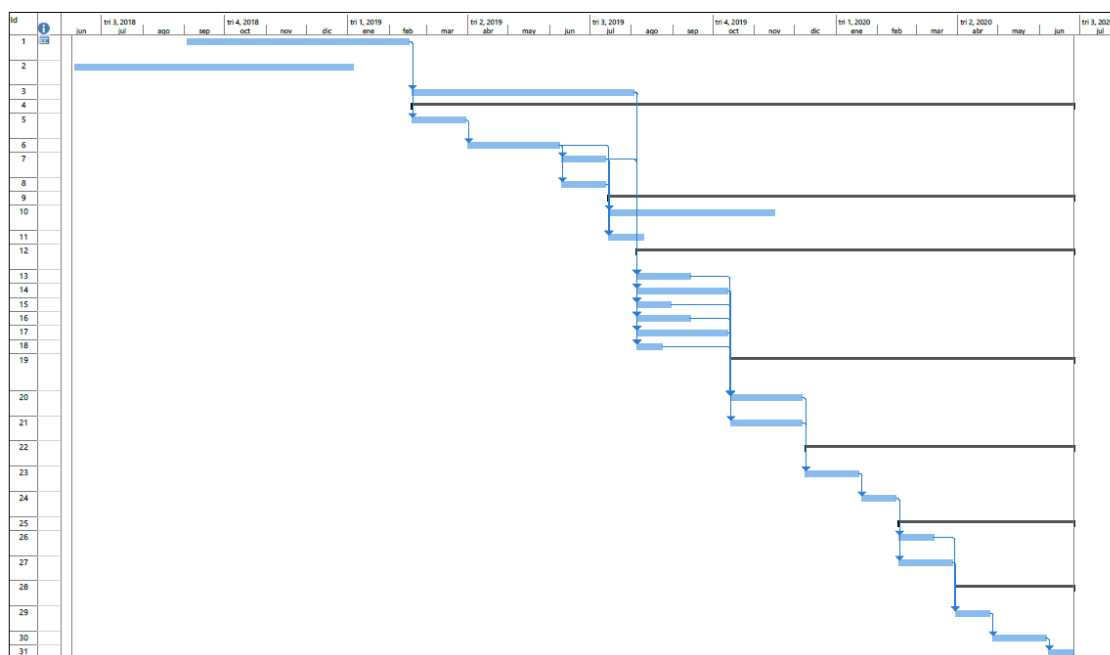


Figura 1.23: Representació gràfica del diagrama de Gantt corresponent.

Tal i com es mostra en les figures anteriors, el projecte presenta una durada prevista de construcció d'uns 2 anys, iniciant-se al 3/09/2018 i finalitzant al 08/06/2020.

1.8 BIBLIOGRAFIA

[1] K.Weissermel / H.J. Arpe. Química Orgánica industrial. / 1ª Edición. Ed. REVERTÉ. (Pàgines consultades 202-210).

[2] meteocat.cat Agència meteorològica de Catalunya [Online]. (Consulta al març del 2018)

<http://www.meteo.cat/>

[3] INSSBT, Instituto Nacional de Seguridad, Salud i Bienestar en el Trabajo [Online] (consulta al març del 2018)

<http://www.insht.es/portal/site/Insht/>

[4] EWK, Torres de Refrigeración [Online] (consulta al 26 d'abril de 2018).

<https://www.ewk.eu/>

[5] The Linde Group/ LINDE. [Online] (Consulta al 4 de maig de 2018)

<http://www.linde.es/es/index.html>

[6] BOSCH / Bosch termotècnia- [Online] (Consulta al 8 de maig del 2018)

<https://www.bosch-thermotechnology.com/es/es/comercial-e-industrial/ocs/productos/calderas-de-vapor-669471-c>

[7] LNEYA / Industrial chiller [Online] (Consulta al 16 de maig de 2018)

<http://www.lneya.com/>